云 南 植 物 研 究 2003，25（5）：589～595
Acta Botanica Yunnanica

云南金钱槭果实、种子形态分化研究*

李 珊，蔡宇良，徐 莉，赵桂仿**
（西北大学生命科学学院，秦岭生物多样性研究中心，陕西 西安 710069）

摘要：对5个云南金钱槭（*Dipteronia dyeriana* Henry）天然居群的果实、种子形态进行研究。测量了果实和种子的长度、宽度、重量等12个表型性状指标。数据统计结果显示：5个云南金钱槭居群按果实、种子大小进行排序为：蒙自（MZ）＞屏边（PB）＞文山1（WSh1）＞文山3（WSh3）＞文山2（WSh2）。表型性状在居群内和居群间均存在着一定程度的变异，其中居群间变异系数的平均值从0.064（果实整体形态，PL/PB）到0.197（种子重量，SW），相比之下果实整体形态最为稳定。居群间形态总体差异显著性配对 *t* 检验结果说明，多数居群间已产生较明显的形态分化。Ward聚类和相关分析结果都表明表型性状与生态因子、海拔高度之间存在着一定程度的相关性，多种生态因子的共同作用是导致果实、种子形态特征产生差异的主要原因。

关键词：云南金钱槭；果实；种子；形态分化
中图分类号：Q 944　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253－2700(2003)05－0589－07

Morphological Differentiation of Samaras and Seeds of *Dipteronia dyeriana*（Aceraceae）

LI Shan，CAI Yu-Liang，XU Li，ZHAO Gui-Fang**
（*School of Life Science*，*Biodiversity research center of Mts. Qinling*，*Northwest University*，Xi'an 710069，China）

Abstract：The samaras and seeds of *Dipteronia dyeriana* Henry were collected from five natural populations in Wenshan（WSh1，WSh2，WSh3），Mengzi（MZ），Pingbian（PB）of Yunnan province. Based on the data of twelve morphological characters of samaras and seeds，the morphological differentiation in the five populations was studied. The statistic analysis result shows that，according to the size of the samaras and seeds，the order of 5 populations is MZ > PB > WSh1 > WSh3 > WSh2. There exist morphological differences among and within populations of *D. dyeriana*，the average variation coefficiences among populations range from 0.064（hological shape of samaras，PL/PB）to 0.197（weight of seeds，SW），and the PL/PB is a relatively stable character. Paired *t*-test of the significance of the general inter-populations morphological variations indicates that there is an evident differentiation among most populations. Correlation analysis and Ward's cluster analysis presents the certain relationship occurs between ecological factors，altitude and morphological characters to some extent. The interaction of manifold ecological factors is the

* 基金项目：国家自然科学基金资助课题（资助号：30270154）
** 通讯作者 Author for correspondence
收稿日期：2003－01－20，2003－08－18 接受发表
作者简介：李珊（1976－）女，在读博士生，主要从事植物分子进化和分子生态的研究工作。

main reason for morphological differentiation of *D. dyeriana* Henry.

Key words: *Dipteronia dyeriana*; Samaras; Seeds; Morphological differentiation

云南金钱槭（*Dipteronia dyeriana* Henry）是槭树科金钱槭属的落叶乔木。零星分布于我国云南省文山县、蒙自县、屏边县海拔 1 900 ~ 2 200 m 的林地中，天然分布区十分狭窄，个体数量极为有限，被列为国家二级珍稀濒危保护植物（方文培，1981；应俊生和张玉龙，1994）。到目前为止，仅对云南金钱槭的地理分布、花粉形态、迁地保护等方面有少量研究报道（赵先贵等，1998；田欣等，2001；欧阳志勤等，2001）。

在对金钱槭属植物的调查和取样过程中发现，不同地区云南金钱槭的果实和种子在外部形态上存在着较明显的差异，如蒙自县居群果实的长度、宽度、果皮半径等指标均大于其它居群，种子也较为饱满，而文山县居群的相应指标普遍较小；屏边居群的果实趋于圆形而蒙自居群的果实趋于椭圆形等。为了进一步分析这些形态特征变异的大小、变异的分布模式以及产生这些变异的可能原因，最终选取了具有分类意义的表型性状来研究云南金钱槭果实、种子形态特征的变异（徐廷志，1996），为探索云南金钱槭居群分化、演进以及从居群水平上研究云南金钱槭的遗传多样性提供形态学资料，并为今后的保护遗传学研究奠定基础。

1　材料与方法

1.1　野外调查与取样

2002 年 8 月，在云南省文山、蒙自、屏边 3 县进行材料采集，采集点涵盖了该种的整个分布区。由于云南金钱槭的居群小而分散，部分个体尚未结实，因此采集到的居群数和个体数偏少。对每个被调查个体我们都从东西南北 4 个方向，分上下两层选取形态正常、种子饱满的成熟翅果，以保证取样的可靠性。图 1 为 5 个居群的采样图，表 1 则列出了各居群的采样量及其生境状况。

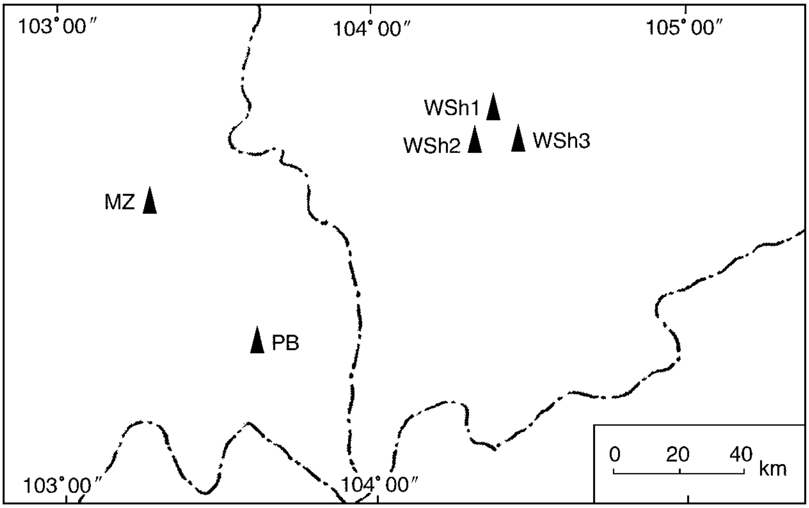

图 1　云南金钱槭采样图

Fig. 1　Sample-collecting map of *Dipteronia dyeriana* Henry

表 1　各采样地居群概况

Table 1　The general situation of sampling sites

居群名称 Population code	采样地点 Location	果实数 Fruit number	海拔 Altitude/m	土壤 pH pH value	采样点生境 Habitat
文山 1（WSh1）	文山	74	2220	5.7	干燥路边
文山 2（WSh2）	文山	76	2214	5.3	潮湿林地
文山 3（WSh3）	文山	57	2217	5.5	潮湿林地
蒙自（MZ）	蒙自	79	1902	5.8	沟谷
屏边（PB）	屏边	85	2019	5.7	阴暗林缘

1.2　形态指标测定

用游标卡尺、电子天平分别对发育成熟、形态完整的果实、种子进行测量，分别记录衡量果实、种子大小的 10 项指标：果实长度（PL）、宽度（PB）、厚度（PH）、重量（PW），果皮最大半径（PR），种子长度（SL）、宽度（SB）、厚度（SH）、重量（SW），种柄长（SE）；并计算衡量果实、种子形状的 2 项指标：果实整体形态（PL/PB）、种子整体形态（SL/SB），从而得到果实、种子 12 个表型性状的原始数据。其中与果梗延伸方向一致的果实、种子大小测量值为果实长度（PL）、种子长度（SL），与果梗方向垂直的果实、种子大小测量值为果实宽度（PB）、种子宽度（SB）。

1.3　数据处理

对果实、种子表型性状的测量值进行统计分析，用常规方法计算各表型性状在居群内的平均值、变异系数值，以衡量形态特征变异的程度（林德光，1982）。用 SPSS11.0 软件包进行配对样本的显著性 t 检验，讨论各居群在总体性状上的差异显著性；计算表型性状与土壤含水量、土壤 pH、年平均温度等 8 个生态因子及海拔高度间的相关系数，探讨表型性状与生态因子、海拔高度间的相关性。最后，计算居群间的欧氏距离（Euclidean Distance），基于欧氏距离用 Ward 平方和增量法进行聚类分析（Ward，1963），进一步证明表型性状与生态因子及海拔高度间的关系。

2　结果分析

2.1　果实、种子表型性状特征

从表 2 中可以看出，在文山 3 个居群中，反映果实、种子大小的表型性状的平均值普遍偏小，在蒙自居群中平均值最大，屏边居群居中。而且文山居群与蒙自、屏边两居群间表型性状平均值的差异较大，蒙自、屏边两居群间的差异相对较小。5 个居群按果实、种子大小进行排序为：蒙自 > 屏边 > 文山 1 > 文山 3 > 文山 2。说明果实、种子的形态特征在不同地区间存在着较大差异，地理种源和生态因子对果实、种子形态特征产生变异可能起着举足轻重的作用。表 2 还显示，果实整体形态（PL/PB）的平均值在屏边居群中为 0.961，最接近于 1，果实趋于圆形，在蒙自居群中为 0.920，最偏离于 1，果实趋于椭圆形。与之相反，种子整体形态（SL/SB）的平均值在屏边居群中最偏离于 1，在蒙自居群中最接近于 1。说明在云南金钱槭的现代分布区内，随着纬度的降低果实的形态接近于圆形，而种子的形态则呈现出相反的趋势。

2.2　表型性状变异特征

变异系数可以反映表型性状的变异幅度。表 2 列出了各表型性状在居群中的变异系数及其平均值。在同一居群内部，不同表型性状的变异系数值不同。如在 WSh1 居群中，表型性状变异系数的最大值为 0.288（SW），最小值为 0.077（PL/PB）；在 MZ 居群中，表型

性状的变异系数最大值、最小值分别为 0.151（PW）、0.061（SL）。在所研究的 5 个居群中，种子重量、果实重量的变异系数值均大于其它表型性状的变异系数值，说明上述两个性状在居群内部的分化比其他性状显著。

表 2　云南金钱槭果实、种子表型性状统计表

Table 2　Statistics on fruit and seed shape in population of *Dipteronia dyeriana* Henry

	WSh1		WSh2		WSh3		MZ		PB		平均值 Mean	
	$\bar{x}$	*CV*	$\bar{x}$	*CV*	$\bar{x}$	*CV*	$\bar{x}$	*CV*	$\bar{x}$	*CV*	$\bar{x}$	*CV*
PL	4.198	0.090	4.085	0.046	3.981	0.073	4.859	0.087	4.604	0.087	4.345	0.076
PB	4.339	0.097	4.099	0.066	4.321	0.126	5.259	0.080	4.804	0.097	4.564	0.093
PH	3.438	0.105	3.374	0.093	3.480	0.090	3.917	0.075	3.653	0.119	3.572	0.096
PW	0.218	0.160	0.207	0.149	0.207	0.219	0.295	0.151	0.260	0.143	0.237	0.165
SE	1.458	0.131	1.283	0.097	1.151	0.080	1.545	0.079	1.537	0.118	1.395	0.101
PR	1.663	0.125	1.596	0.077	1.738	0.081	2.104	0.093	1.998	0.120	1.820	0.099
SL	10.557	0.087	10.650	0.079	10.785	0.088	10.884	0.061	10.880	0.068	10.751	0.077
SB	8.308	0.083	8.043	0.066	7.612	0.096	8.257	0.068	7.493	0.077	7.943	0.078
SH	1.917	0.130	1.811	0.111	2.014	0.099	2.577	0.087	2.518	0.135	2.167	0.112
SW	0.088	0.288	0.085	0.203	0.090	0.221	0.118	0.113	0.118	0.161	0.100	0.197
PL/PB	0.957	0.077	0.959	0.055	0.923	0.068	0.920	0.068	0.961	0.051	0.944	0.064
SL/SB	1.376	0.097	1.365	0.086	1.420	0.061	1.326	0.084	1.452	0.063	1.388	0.079

从表 2 还可以看出，不同表型性状变异系数的平均值差别较大，从 0.064（PL/PB）到 0.197（SW）不等。说明种子重量（SW）在 12 个表型性状中变异最大，果实整体形态（PL/PB）在 12 个表型性状中变异最小。除此之外，同一表型性状在不同居群间的变异幅度也存在差异，12 个表型性状按在 5 个居群间变异幅度的大小进行排序为：SW > PW > PB > SE > PR > SH > PL > PH > SL/SB > SB > SL > PL/PB（由于版面所限，变异幅度值未列出）。说明种子重量（SW）在居群间的变异最大，果实整体形态（PL/PB）在居群间的变异最小。

2.3　居群间形态总体差异显著性配对 *t* 检验

表 3 中列出了 5 个云南金钱槭居群间形态总体差异显著性配对 *t* 检验的结果，表中数据显示，除 WSh1 居群与 PB 居群间的差异未达到显著水平外，文山的 3 个居群与 MZ、PB 居群间均存在显著差异，其中 WSh1、WSh2 与 MZ 居群及 WSh3 与 MZ、PB 居群间的差异达极显著水平。而文山的 3 个居群之间以及 MZ、PB 两居群之间的差异均未达到显著水平。

表 3　居群间形态总体差异显著性配对 *t* 检验

Table 3　Paired *t*-test of the significance of the general inter-populations morphological variations

居群 Population	WSh1-WSh2	WSh1-WSh3	WSh1-MZ	WSh1-PB	WSh2-WSh3	WSh2-MZ	WSh2-PB	WSh3-MZ	WSh3-PB	MZ-PB
t 值 *t* value	2.052	0.825	−3.208**	−1.481	−1.990	−3.368**	−2.217*	−3.614**	−3.400**	2.051

* Variation is significant at the 0.05 level，2-tailed　　** Variation is significant at the 0.01 level，2-tailed

2.4　形态变异与生态因子及海拔高度的相关性

云南金钱槭 12 个表型性状与文山、蒙自、屏边 3 个县的土壤含水量、年平均气温等 8 个生态因子和海拔高度的相关分析结果见表 4。

表 4　表型性状与生态因子的相关性

Table 4　Relationship between phenotypic characters and ecological factors

	海拔 Altitude	土壤含水量 Soil water	土壤 pH Soil pH	年均温度 Temperature	年降水量 Annual precipitation	年日照时数 Annual sunshine hours	年最高温度 Annual highest temperature	年最低温度 Annual lowest temperature	无霜期 Frostless period
PL	-0.976**	0.759	0.768	-0.345	0.534	0.635	-0.185	-0.530	-0.317
PB	-0.974**	0.650	0.817	0.243	0.441	0.713	0.078	-0.618	0.213
PH	-0.970**	0.589	0.757	0.160	0.365	0.774	0.008	-0.686	0.130
PW	-0.991**	0.710	0.770	-0.282	0.480	0.697	0.116	-0.597	-0.253
SE	-0.742	0.722	0.788	-0.431	0.559	0.356	-0.315	-0.261	-0.411
PR	-0.966**	0.753	0.763	-0.410	0.590	0.575	-0.254	-0.466	-0.382
SL	-0.800	0.691	0.404	-0.466	0.602	0.374	-0.343	-0.272	-0.444
SB	-0.402	-0.399	-0.193	0.690	-0.613	0.579	0.727	-0.636	0.698
SH	-0.953*	0.822	0.754	-0.514	0.681	0.482	-0.364	-0.365	-0.487
SW	-0.955*	0.870	0.732	-0.562	0.725	0.447	-0.414	-0.325	-0.536
PL/PB	0.499	-0.061	-0.561	0.124	0.002	-0.562	-0.220	0.535	-0.142
SL/SB	-0.092	0.474	0.238	-0.672	0.627	-0.443	-0.685	0.509	-0.676

* Correlation is significant at the 0.05 level，2-tailed　　** Correlation is significant at the 0.01 level，2-tailed

表 4 显示：果实、种子形态特征与年平均温度、年降水量、年日照数等 8 个生态因子间的相关系数大小从 0.870 到 0.002 不等，其间的相关性均未达显著水平。然而海拔高度与衡量果实、种子大小的表型性状间表现出较高水平的负相关，其中果实长度（PL）、果实宽度（PB）、果实厚度（PH）、果实重量（PW）及果皮最大半径（PR）与海拔高度的相关性达到非常显著水平（$P<0.01$），种子厚度（SH），种子重量（SW）与海拔高度呈显著的相关性（$P<0.05$）。说明尽管单一的生态因子对果实、种子形态变异未产生显著的影响，但温度、降水、光照等生态因子随着海拔高度的变化而发生改变，它们对果实、种子形态特征的综合影响通过海拔高度的差异表现出来，这可能是导致果实、种子形态特征产生差异的原因之一。

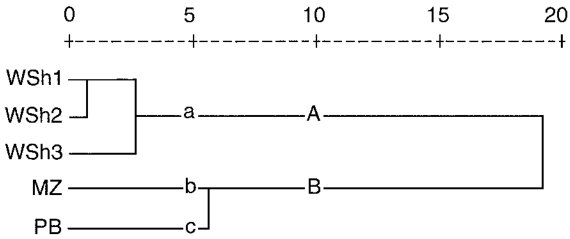

图 2　基于形态特征的云南金钱槭天然居群聚类图

Fig. 2　Dendrogram of *Dipteronia dyeriana* Henry populations based on phenotypic characters

根据 12 个表型性状的测量值、8 个生态因子和海拔高度数据，采用欧氏距离 Ward 聚类法进行聚类分析，得到聚类图 2。图中显示，当截取值为 10 时，5 个居群形成 A、B 两个聚类群，截取值为 5 时形成 a、b、c 3 个聚类群。其中 a 聚类群包括来自相似生态环境下的 3 个文山居群 WSh1，WSh2，WSh3，b、c 分别代表来自生态环境相异但差别较小的蒙自（MZ）、屏边（PB）居群。

3　讨论

地理阻隔和不同自然条件的长期作用可使果实和种子大小在植物居群间产生较大的差异。如分布于中国东部青冈果实的大小在不同种群间存在显著的差异，其中果实体积的变

异幅度最大（蔡永立等，1999）；分布于英伦三岛的 *Leymus arenariums* 的36个种群间种子的平均单粒重差异达6倍之多（Greipsson & Davy，1995）。云南金钱槭果实、种子大小和果实、种子形状在居群间均存在不同程度的变异，变异幅度最大的是果实重量，最小的是果实整体形态。基于表型性状数据的居群间形态总体差异显著性配对 t 检验及 Ward 聚类分析结果均说明在地理距离较远，生态环境异质性较大的居群间，果实、种子的大小已产生较大差异。云南金钱槭3个分布区，即文山县、蒙自县、屏边县之间存在较大的地理隔离，高大的山脊形成了天然的屏障，使其间的温度、降水等气候条件产生较显著差异。此外，邓洪平等（1999）的研究表明，生长在土层厚、土壤肥沃等土壤条件较好种子，其长度、宽度、厚度、总质量等形态指标均明显大于生长于土壤条件不良的种子，而且土壤类型对种子的形态性状也具有一定的影响。本研究得到了与前者相似的结果，蒙自居群的土壤肥沃、土壤类型适合于云南金钱槭的生长，其果实、种子的形态指标较大，而文山居群的土壤条件较差，果实、种子的形态指标也相应较小。上述结果说明，多种因素对居群的综合作用可能是导致云南金钱槭居群间产生形态分化的主要原因。

本文研究的5个云南金钱槭居群中，果实与种子的表型性状在各居群内也存在一定的变异，而且变异幅度随着小生境异质性的增大而增加。这种现象在 WSh1 居群中较为显著，可能由于该居群位于路边至林地边缘，不同个体以及同一个体不同部位所处的光照、风力、土层厚度等条件差别明显，因而表型性状在此居群内的变异幅度较大。

前人研究结果表明，随着环境干燥度的提高，种子有增重的趋势；随着纬度的北移，种子亦趋大变重（李晓洁和徐化成，1989）。而在云南金钱槭的调查中发现，文山县3个居群 WSh1、WSh2、WSh3 所处的纬度虽然高于 PB 居群，但其果实大小明显小于 PB 居群，与上述结论相反。另外，有研究表明，海拔相差约200 m 的种群，其种子长、宽，种子净质量等形态指标间的差异可达30%以上（邓洪平等，1999）。本研究结果也显示出海拔高度对云南金钱槭果实、种子的表型性状有较大的影响。海拔高度作为一种环境梯度，随着它的升高植物的生存条件逐渐恶劣，如海拔每升高100 m 温度下降0.55℃，风力也随海拔的升高而加大（Ozenda，1985）。文山县3个居群所处的海拔比屏边居群高约200 m，且该地区年降雨量明显小于屏边居群，与适宜云南金钱槭生长的温暖湿润的气候条件相差较大，加之文山县3个居群的小生境较为恶劣，形态性状与其它居群间存在较大差异，这也可能是植物对不同环境采取的不同繁殖策略。

从 Erickson（1945）利用形态学性状研究 *Clematis fremontii* var. *riehlii* 天然居群的遗传变异起，基于果实、种子、叶的表型数据来研究居群的遗传变异已在 *Becium* 属、*Plantago* 属植物、红松（*Pinus koraiensis*）等植物中得到了应用，并证明了其可行性（Wild & Heyting，1966；Primack，1980；张恒庆等，1999）。但植物的形态性状是由其本身的遗传组成和所处的生态环境共同作用的结果，是生物适应其生存环境的表现形式（杨继，1991；葛颂和洪德元，1994）。因此环境因子是云南金钱槭各居群果实、种子表型性状产生差异的外部原因，而各居群遗传物质的变异和分化则是导致表型变异的内在动力。在后续工作中我们将通过 DNA 水平的研究对云南金钱槭各居群形态分化的遗传机理进行探讨。

〔参　考　文　献〕

方文培，1981. **中国植物志** [M]. **北京：科学出版社**

应俊生，张玉龙，1994. **中国种子植物特有属** [M]. **北京：科学出版社**

林德光，1982. **生物统计的数学原理** [M]. **沈阳：辽宁人民出版社**

葛颂，洪德元，1994. **生物多样性研究的原理与方法** [M]. **北京：科学出版社**

Cai YL (**蔡永立**), Wang XH (**王希华**), Song YC (**宋永昌**), 1999. Variation of fruit size and its shape of *Cylcobalanopsis glauca* in the eastern subtropical zone, China [J]. *Acta Ecolog Sin* (**生态学报**), **19** (4): 581—586

Deng HP (**邓洪平**), He P (**何平**), Zhong ZC (**钟章成**), 1999. The studying of seeds morphological differentiation among populations of *Gordonia acuminata* from different geographical provenances and successiving communities [J]. *J Southwest China Normal Univ* (**西南师范大学学报**), **24** (2): 207—213

Erickson RO, 1945. The *Clematis fremontii* var. *riehlii* population in the Ozarks [J]. *Ann Missouri Bot Gard*, **32**: 413—460

Greipsson S, Davy A, 1995. Seed mass and germination behavior in populations of the dune-buiding grass *Leymus arenarius* [J]. *Ann of Bot*, **76**: 493—501

Li XJ (**李晓洁**), Xu HC (**徐化成**), 1989. A study on seed and germination characteristics of *Pinus bungeana* Zucc. ex. Endl. from different provenances [J]. *Scientia Silvae Sin* (**林业科学**), **25** (2): 97—105

Ou YZQ (**欧阳志勤**), Zhou JZ (**周际中**), Huang QX (**黄清祥**), 2001. Ex Situ conservation of *Dipteronia dyeriana*, a rare and endangered plant [J]. *Yunnan Forestry Science and Technology* (**云南林业科技**), **96** (3): 24—27

Ozenda P, 1985. La vegetation de la chaine alpine dan l'espace montagnard europeen [M]. Masson, Paris

Primack RB, 1980. Phenotypic variation of rare and widespread species of *Plantago* [J]. *Rhodora*, **82**: 87—96

Tian X (**田欣**), Jin QJ (**金巧军**), Li DZ (**李德铢**), 2001. Pollen morphology of Aceraceae and its systematic implication [J]. *Acta Bot Yunnan* (**云南植物研究**), **23** (4): 457—465

Ward JH, 1963. Hierarchical groupion to optimize an objective function [J]. *American Statistical Association*, **58**: 26—31

Wild H, Heyting A, 1966. An analysis of variation of leaf dimensions in *Becium homblei* Duvign. et Plancke and *Becium obovatum* N. E. Br [J]. *Botaniska Notisera*, **119**: 349—357

Xu TZ (**徐廷志**), 1996. Samara shape of Aceraceae and it's implications in systematics and evolution [J]. *Guihaia* (**广西植物**), **16** (2): 109—122

Yang J (**杨继**), 1991. Intraspecific variation in plant and the exploring methods [J]. *J Wuhan Bot Res* (**武汉植物学研究**), **2**: 186—195

Zhang HQ (**张恒庆**), An LJ (**安利佳**), Zu YG (**祖元刚**), 1999. Geographical variation of morphology characters for natural populations of *Pinus koraiensis* [J]. *Acta Ecol Sin* (**生态学报**), **19** (6): 932—938

Zhao XG (**赵先贵**), Xiao L (**肖玲**), Mao FC (**毛富春**), 1998. A study on pollen morphology of Aceraceae [J]. *Acta Bot Boreal Occident Sin* (**西北植物学报**), **18** (2): 252—255